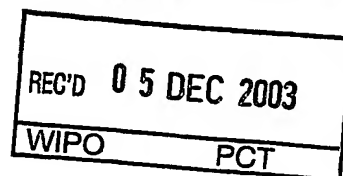




PCNFR03/02874

10/530443



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 02 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*02

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DS 540 G W / 010801

REMISE DES PIÈCES DATE 08/10/2002 LIEU 95 N° D'ENREGISTREMENT 0212494 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI - 8 OCT. 2002		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE 1 et 4 avenue de Bois Préau 92852 Rueil-Malmaison cedex	
Vos références pour ce dossier (facultatif) JC/CLN			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE DE SEPARATION DE SIGNAUX DE MICROSISMICITE DE SIGNAUX SISMIQUES EMIS PAR UNE OU PLUSIEURS SOURCES			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
Prénoms			
Forme juridique		Organisme Professionnel	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège		1 et 4 avenue de Bois Préau	
Rue			
Code postal et ville		92 852 Rueil-Malmaison cedex	
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)		01 47 52 60 00 N° de télécopie (facultatif) 01 47 52 70 03	
Adresse électronique (facultatif)			
<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{ème} page



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES DATE 08/10/2002 LIEU 99 N° D'ENREGISTREMENT 0212494 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI
Vos références pour ce dossier : (facultatif)		JC/CLN
6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)		
Nom		ELMALEH
Prénom		Alfred
Cabinet ou Société		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau
	Code postal et ville	92 18 15 12 Rueil-Malmaison cedex
	Pays	France
N° de téléphone (facultatif)		01 47 52 60 00
N° de télécopie (facultatif)		01 47 52 70 03
Adresse électronique (facultatif)		
7 INVENTEUR (S)		
Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques		
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'Inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE		
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		
Uniquement pour les personnes physiques		
<input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)		
<input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG [] [] [] [] []		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		1
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALEH Directeur - Propriété Industrielle		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*02

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Page suite N° 1.../1...



Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE 08/10/2002
LIEU 99
N° D'ENREGISTREMENT 0212494
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 829 G W / 120501

Vos références pour ce dossier (facultatif)		JC/CLN
<input checked="" type="checkbox"/> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date Pays ou organisation Date Pays ou organisation Date
<input checked="" type="checkbox"/> DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		GAZ DE FRANCE - SERVICE NATIONAL
Prénoms		
Forme juridique		Etablissement public à caractère industriel et commercial
N° SIREN		
Code APE-NAF		
Domicile ou siège	Rue	23, rue Philiber Delorme
	Code postal et ville	75 15 18 14 10 Paris cedex 17
	Pays	France
Nationalité		Française
N° de téléphone (facultatif)		
N° de télécopie (facultatif)		
Adresse électronique (facultatif)		
<input checked="" type="checkbox"/> DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GEOPHYSIQUE
Prénoms		
Forme juridique		Société Anonyme
N° SIREN		
Code APE-NAF		
Domicile ou siège	Rue	1, rue Léon Migaux
	Code postal et ville	91 13 14 11 Massy cedex
	Pays	France
Nationalité		Française
N° de téléphone (facultatif)		
N° de télécopie (facultatif)		
Adresse électronique (facultatif)		
<input checked="" type="checkbox"/> SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI
Alfred ELMALEH Directeur - Propriété Industrielle		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI

5

L'invention concerne une méthode pour discriminer des signaux microsismiques induits par l'exploitation d'un gisement souterrain, parmi des signaux sismiques émis dans le cadre d'opérations de surveillance sismique

Pour suivre l'évolution d'un gisement souterrain en cours d'exploitation, il est connu
10 d'implanter à poste fixe des sources sismiques et des récepteurs sismiques, en surface ou dans des puits, qu'il s'agisse de puits d'exploration ou d'exploitation du gisement et de procéder à intervalles de temps fixés à des opérations d'enregistrement des signaux sismiques émanant de la formation. Il peut s'agir de signaux sismiques induits par l'activité d'exploitation du site ou de signaux sismiques renvoyés par les discontinuités géologiques
15 de la formation, en réponse à l'émission d'ébranlements dans le sol au moyen d'une ou plusieurs sources sismiques. La comparaison des enregistrements effectués à des instants différents de l'exploitation du site, fournit des données sur son évolution.

Différents systèmes de surveillance sismique à long terme sont décrits par exemple dans les brevets EP 591 037 (US 5 461 594), FR 2 593 292 (US 4 775 009), FR 2 728 973
20 (US 5 724 311) ou FR 2 775 349.

Par le brevet EP 748.457 (US 5 724 311) de deux des demandeurs, on connaît un système de surveillance permanente permettant d'obtenir une parfaite reproductibilité des conditions opératoires dans des opérations répétitives de surveillance sismique d'une zone souterraine traversée par au moins un puits ou forage, et notamment d'un réservoir
25 souterrain de stockage de gaz. Ce système comporte, installés à poste fixe, un ou plusieurs ensemble(s) de récepteurs sismiques (enterrés en surface ou placés dans un ou plusieurs puits), plusieurs sources sismiques répétitives (enterrées ou en surface) ainsi que d'un réseau de liaison permanente pour l'alimentation sélective de ces sources en énergie. Une

station centrale télécommande sélectivement chacune de ces sources, et enregistre les signaux sismiques émanant de la zone souterraine en réponse aux ondes sismiques transmises sélectivement dans le sol par les sources.

Grâce à cet ensemble de sources à poste fixe dont le couplage avec les terrains
5 environnant reste stable, et à ce réseau d'alimentation au moins en partie enterré et dont l'aire d'emprise en surface est réduite, on peut mener toute une série d'opérations sismiques de surveillance de longue durée dans des conditions opératoires stables, sans risque d'incompatibilité avec les activités du chantier d'exploitation.

Par le brevet FR 2.775.349 (US 6 182 012) des deux mêmes demandeurs, on
10 connaît une méthode et un dispositif de surveillance permanente d'une formation souterraine dans laquelle on forme des cavités pour des sources sismiques (de préférence assez profondes pour qu'elles soient couplées avec la formation au-dessous de la zone altérée (WZ)), on fore au moins un puits soit au-dessous de chacune des sources ou au voisinage immédiat de chacune d'elles. Dans chacun des puits ainsi forés, on descend une
15 antenne constituée d'une pluralité de récepteurs sismiques (géophones, hydrophone, etc.) que l'on couple avec la formation environnante. Avec ce dispositif, on réalise des cycles d'émission-réception avec émission d'ondes sismiques dans la formation par au moins une source et acquisition des signaux captés par les récepteurs sismiques, en réponse aux ondes renvoyées par la formation. Les récepteurs peuvent par exemple être associés avec un tube
20 de transfert de fluides descendu dans le puits, dans le but de relier une zone souterraine à un appareil d'exploitation en surface et couplés avec la formation environnant le puits.

Les différentes sources du dispositif de surveillance sismique peuvent être actionnées successivement, en ménageant entre les déclenchements un intervalle de temps suffisant pour recevoir les ondes renvoyées par la zone investiguée. On peut aussi utiliser
25 plusieurs sources sismiques émettant les mêmes signaux que l'on déclenche simultanément pour augmenter la puissance émise.

Par le brevet FR 2.805.051 des demandeurs, on connaît une méthode et un système de surveillance sismique d'une formation souterraine. Comme schématisés aux Fig.1 à 4, le système comporte par exemple un réseau d'antennes sismiques 2 constituées chacune d'un
30 ensemble de capteurs sismiques 4 disposés à intervalles réguliers le long d'un puits 3 foré dans le sol. Ce réseau peut être régulier comme schématisé sur la Fig.2, ou irrégulier. Les

capteurs sont par exemple des géophones mono-directionnels orientés verticalement ou multi-axes (triphones) et/ou des hydrophones. A proximité de chaque antenne 2, est disposée une source sismique 5. Comme sources, on utilise avantageusement des vibrateurs de type piézoélectrique, tels que décrit dans le brevet FR 2.791.780 (US 6.338.394) aux
 5 noms conjoints des demandeurs, qui sont installés à demeure au voisinage immédiat de chaque antenne 2. A chaque antenne peut être associé un module électronique de contrôle et d'enregistrement 6 (Fig.1). Ces modules électroniques 6 peuvent être reliés à un laboratoire central de commande et de synchronisation 8. Suivant un autre mode de mise en œuvre, schématisé sur la figure 4, les antennes 2 sont reliées directement à un laboratoire
 10 central 8 regroupant tous les modules électroniques individuels de contrôle et d'enregistrement 6 (Fig.1).

Des ondes sismiques sont émises dans la formation souterraine par une ou plusieurs sources sismiques (vibrateurs) 5. Dans le cas de sources multiples, celles-ci émettent simultanément ; elles sont pilotées par des signaux orthogonaux les uns relativement aux
 15 autres, de manière à former un signal vibratoire composite. Les vibrateurs fonctionnent en permanence ou tout du moins sur une durée assez longue pour obtenir un rapport signal au bruit suffisant. Les ondes sismiques générées par les sources sismiques 5 se propagent vers le bas (ondes descendantes 9). Ces ondes incidentes sont tout d'abord enregistrées par les récepteurs 4 de chaque puits 3. Les ondes renvoyées par les discontinuités de la zone
 20 (interfaces sismiques) se propagent vers le haut. Ces ondes montantes 10 sont enregistrées aussi par les différents récepteurs 4. De la sorte, les ondes montantes et descendantes sont superposées sur les sismogrammes. On applique aux enregistrements les traitements usuels bien connus des gens de l'art convenant à ceux obtenus par la technique dite de PSV (Profils Sismiques Verticaux). Ensuite, on discrimine les contributions respectives des
 25 sources sismiques au signal vibratoire composite et on reconstruit les sismogrammes équivalents à ceux que l'on obtiendrait en actionnant séparément les sources sismiques. Comme signaux orthogonaux, on utilise par exemple des signaux sinusoïdaux de fréquences différentes les uns des autres aussi bien par leurs composantes fondamentales que par leurs harmoniques respectives, ou des signaux formés à base d'ondelettes, de
 30 polynômes de Legendre ou de séries aléatoires, etc.

Dans le cas notamment où les signaux orthogonaux émis sont des sinusoïdes, on réalise par exemple la discrimination des contributions respectives des sources sismiques,

par détermination de l'amplitude et de la phase du signal vibratoire composite aux fréquences fondamentales des signaux de pilotage appliqués aux sources sismiques. Cette discrimination comporte par exemple une pondération des signaux enregistrés par un facteur de pondération (ou d'apodisation) en cloche et une détermination de l'amplitude et de la phase du signal composite, ou bien encore une sélection par transformée de Fourier, de raies du spectre complexe associées respectivement aux différents signaux pondérés. La reconstruction des sismogrammes correspondant spécifiquement aux différentes sources sismiques est effectuée par exemple en appliquant, après leur séparation, une transformée de Fourier inverse, aux raies associées respectivement aux différents signaux pondérés.

10 Par ailleurs, il est connu que l'exploitation des réservoirs induit des variations de contraintes mécaniques dans le réservoir et dans sa couverture. Ces variations de contrainte ont pour effet de générer des signaux sismiques se propageant dans les terrains. Les récepteurs des différentes antennes 2 vont enregistrer ces signaux (ondes montantes 11).

Comme les sources sismiques 5 sont situées beaucoup plus près des récepteurs 4 des antennes 2 que du réservoir et que l'énergie qu'elles émettent est bien plus intense que l'énergie des signaux microsismiques induits générés dans le réservoir, il en résulte que les signaux microsismiques sont généralement masqués et indécélables.

La méthode selon l'invention

La méthode selon l'invention permet de séparer des signaux de microsismicité induite et des signaux sismiques multi-sources dans le cadre d'opérations de la surveillance d'une zone souterraine en cours d'exploitation.

Elle comporte l'émission d'ondes sismiques dans la formation en couplant avec elle une ou plusieurs sources sismiques. Dans ce dernier cas, celles-ci émettent simultanément des signaux orthogonaux les uns relativement aux autres, de manière à former un signal vibratoire composite, la réception des signaux renvoyés par la formation en réponse à l'émission des ondes sismiques, l'enregistrement des signaux reçus par au moins un capteur sismique et le traitement des signaux enregistrés pour séparer les contributions respectives des sources sismiques aux signaux reçus et reconstruire les sismogrammes équivalents à ceux que l'on obtiendrait en actionnant séparément les sources sismiques.

On sépare les signaux de microsismicité induite (sismique passive) des signaux sismiques émis essentiellement en isolant la contribution de chacune des sources par comparaison avec un modèle spectral de référence aux fréquences fondamentales émises et à leurs harmoniques respectives, et en reconstituant dans le domaine des temps les signaux de microsismicité induite et les signaux sismiques émis.

La contribution spectrale des signaux de microsismicité au spectre des signaux reçus est obtenue par exemple en retranchant les valeurs d'amplitude et de phase associées au modèle spectral de référence, de l'amplitude et de la phase du spectre associé aux enregistrements.

10 Suivant un mode de mise en œuvre, comme modèle spectral de référence, on utilise par exemple un modèle courant formé par mise à jour d'un modèle spectral prenant en compte la contribution de cycles d'enregistrement précédents.

Le modèle spectral courant peut être formé, en déterminant une valeur moyenne des spectres de fréquence formés à partir d'enregistrements (antérieurs et/ou postérieurs) obtenus pour la même source et les mêmes fréquences.

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on forme le modèle spectral courant, en déterminant une valeur médiane des spectres de fréquence formés à partir d'enregistrements antérieurs obtenus pour la même source et les mêmes fréquences.

20 Suivant un autre mode de mise en œuvre, on forme le modèle spectral courant, par extrapolation ou interpolation à partir du spectre de fréquence à partir de valeurs spectrales voisines.

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on forme le modèle spectral courant en utilisant la raie obtenue à cette fréquence.

25 Suivant un mode de mise en œuvre, la discrimination de signaux de microsismicité induite parmi des signaux émis dans le cadre d'opérations de surveillance sismique active est obtenue par les étapes suivantes :

a) pour chaque enregistrement n d'un cycle p d'enregistrement, on calcule les contributions respectives des différentes sources aux fréquences fondamentales ;

b) on calcule ensuite le rapport de la contribution à un modèle spectral courant formé par actualisation d'un modèle spectral précédent à partir de fréquences émises durant l'enregistrement précédent ainsi que de leurs harmoniques ;

5 c) on déduit la partie de l'enregistrement n du cycle p, que l'on peut associer aux opérations de surveillance sismique active ;

d) on déduit la partie de l'enregistrement n du cycle p, relevant proprement de l'activité microsismique passive ; et

10 e) on forme par inversion dans le domaine des temps, des contributions spectrales respectives de chacun des sources sismiques aux fréquences fondamentales et à leurs harmoniques, après complétion d'un cycle de mesures, les sismogrammes que l'on peut associer aux opérations de surveillance sismique active ; et

f) on forme par inversion dans le domaine des temps, à partir de la partie relevant de l'activité microsismique passive, les signaux microsismiques sous-jacents contenus dans les enregistrements.

15 La contribution spectrale est obtenue en multipliant une fonction de transfert entre une ondelette caractéristique de la source et un sismogramme associé à un récepteur donné, par une ondelette caractéristique de la source. Cette fonction de transfert peut être continuellement mise à jour au cours d'un cycle courant à partir d'une estimation faite au cours d'un cycle précédent et d'une estimation initiale faite au cours du cycle courant par la
20 relation.

Présentation sommaire des figures

Les caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de mise en oeuvre, en se référant aux dessins annexés où :

- 25 - la Fig.1 montre schématiquement le dispositif de surveillance mis en place sur le terrain pour surveiller sismiquement une formation souterraine ;
- la Fig.2 montre un mode de disposition des unités d'émission-réception sur le terrain ;

- la Fig.3 montre schématiquement une de ces unités d'émission-réception comprenant une source sismique et une antenne de réception ;
 - la Fig.4 montre une variante du dispositif de surveillance de la Fig.1 ; et
 - la Fig.5 montre des exemples de signaux et spectres de fréquence mentionnés dans le
- 5 cours de la description.

Description détaillée

La méthode permet donc de réaliser des opérations de surveillance sismique d'une zone souterraine en utilisant un ensemble de capteurs sismiques et une ou plusieurs sources sismiques vibratoires. Dans le cas d'utilisation de plusieurs sources simultanées, celles-ci

10 sont actionnées simultanément par des signaux à des fréquences différentes choisies de façon que l'on puisse discriminer les contributions de chaque source sur les sismogrammes obtenus à partir des signaux reçus et enregistrés.

Ceci est réalisé d'une façon générale par le pilotage des différentes sources par des sinusoïdes de fréquences différentes et par utilisation de techniques de calcul numérique

15 connues telles que la transformée de Fourier inverse pour séparer les contributions aux sismogrammes obtenus des différentes sources sismiques.

La distorsion ne peut être négligée avec des sources mécaniques. En même temps qu'une fréquence f_i , une même source S_i émet les fréquences $2f_i$, $3f_i$... nf_i . En conséquence, si f_i et f_j sont les fréquences respectives des deux sources S_i et S_j de

20 l'ensemble de sources, il convient si on veut séparer leurs contributions respectives non seulement que $f_i \neq f_j$ mais aussi que $f_i \neq 2f_j$, $f_i \neq 3f_j$, ... $f_i \neq nf_j$.

Comme déjà décrit dans le brevet FR 2.805.051 précité, si on émet le signal composite P_t constitué de la somme de N sinusoïdes $\{f_i, A_i, \Phi_i\}$ avec $1 \leq i \leq N$, toutes les fréquences étant contenues dans une bande spectrale comprise entre deux fréquences

25 limites f_b et f_r , le sismogramme T_t observé au point R aura pour transformée de Fourier à la fréquence f_i , le nombre de module A_i et de phase Φ_i égaux à l'amplitude et à la phase de la sinusoïde T_i . On peut ainsi, en émettant successivement toutes les sinusoïdes de fréquences f_b à f_r , reconstruire par transformée de Fourier inverse le sismogramme T_t .

Dans le cas où, par exemple, toutes les amplitudes A_i sont égales à 1 et toutes les phases Φ_i sont nulles, le signal P_t obtenu est très proche de celui résultant de l'auto-corrélation d'un signal à fréquence glissante variant dans l'intervalle $[f_b - f_r]$ (sweep), utilisé couramment en vibrosismique. D'après la théorie de la transformée de Fourier discrète, bien connue des gens de l'art, si l'on désire écouter la source S_1 pendant le temps t_e , l'incrément de fréquence entre les sinusoïdes est $\Delta f = 1/t_e$ et le nombre de sinusoïdes nécessaires est $N_f = (f_r - f_b)t_e$.

On peut donc exciter simultanément N vibrateurs $S_1, S_2, S_i, \dots S_N$ installés sur le terrain au moyen de signaux vibratoires de fréquences telles que chaque source est excitée successivement par chacune des N_f sinusoïdes ci-dessus à chaque instant, sous réserve que les fréquences respectives des sinusoïdes émises à un même instant par les différentes sources sismiques sont toutes différentes les unes des autres. On réalise ainsi avec chaque vibrateur N_f enregistrements correspondant aux N_f fréquences sélectionnées dans l'intervalle de balayage. La séparation des signaux reçus par les capteurs sur le terrain, en réponse à l'émission simultanée des différents signaux est ainsi obtenue par sélection de la raie à la fréquence appropriée.

On répète ainsi des cycles de N_f enregistrements. L'enregistrement E_n d'un cycle d'acquisition donné contient un ensemble de fréquences fondamentales et harmoniques qui ne dépend que de n . Partant de cette observation, la méthode que l'on va appliquer pour détecter les effets de la microsismicité, repose sur le constat vérifié dans la pratique, que les variations d'amplitude et de phase observées à la fréquence f et à l'instant t sont très peu différentes de celles observées à la fréquence $f - \Delta f$ et à l'instant $t - \Delta t$. Cela permet de former un modèle spectral cumulatif construit à partir d'enregistrements de cycles précédents aux mêmes fréquences mais formé donc sur un temps long pendant lequel les caractéristiques des signaux sismiques émis sont susceptibles de varier, et adapté en permanence à partir d'enregistrements obtenus pendant une période suffisamment courte pour que les variations de signal puissent être négligées. L'efficacité de la méthode proposée est optimale quand les fréquences successives émises par une même source s'incrémentent régulièrement. On pourra, par exemple, alterner des cycles en fréquences montantes et en fréquences descendantes.

Pour parvenir dans la pratique à la mise en évidence de cette contribution spectrale des signaux microsismiques sous-jacents, on va procéder comme suit.

Notations :

- 5 ▪ $f_{i,n}$, va désigner la fréquence fondamentale émise par la source i pendant l'enregistrement n (cette fréquence est indépendante du cycle) ;

Pour simplifier les notations des grandeurs suivantes, l'indice désignant le numéro du récepteur est omis. Quel que soit celui-ci, les grandeurs sont calculées de la même manière.

- $R_{p,n}$ va désigner l'enregistrement de rang n du cycle p ;
- 10 ▪ $C_{p,i,n}$, la contribution de la source i à l'enregistrement n du cycle p ;
- $M_{p,n}$, le modèle initial de la partie active de l'enregistrement n du cycle p . Ce modèle ne contient que les fréquences émises ainsi que leurs harmoniques pendant l'enregistrement n ;
- 15 ▪ $E_{p,n}$, le rapport entre les contributions actives de l'enregistrement n du cycle p et le modèle initial de la partie active de l'enregistrement n du cycle p ;
- $A_{p,n}$, la partie active de l'enregistrement n du cycle p ;
- $P_{p,n}$, la partie passive de l'enregistrement n du cycle p (microsismique) ;
- k le coefficient d'actualisation des écarts (typiquement de l'ordre de 15 à 25%) ;
- 20 ▪ h le coefficient d'actualisation des modèles (typiquement de l'ordre de 5 à 10%).

Compte tenu de ces notations, la méthode consiste dans un premier temps, pour chaque enregistrement n du cycle p , au calcul des contributions respectives $C_{p,i,n}$ des différentes sources aux fréquences fondamentales ainsi qu'à leurs harmoniques par la méthode décrite dans le brevet FR 2.805.051 précité. Du fait de la présence éventuelle
25 d'énergie microsismique, la contribution des différentes sources est susceptible d'être bruitée.

On peut améliorer cette estimation en associant les contributions de tous les récepteurs d'un même enregistrement $C_{p,i,n}$. Ces contributions peuvent être considérées comme le produit de deux facteurs dont l'un ne dépend que de la source (et non du récepteur) et l'autre du récepteur et non de la source.

5 Si l'indice r représente le récepteur,

$$C_{p,i,n,r} = S_{p,i,n} T_{p,i,n,r}$$

T ne dépend de p , i et n que par la variation des caractéristiques du récepteur et de son environnement avec le temps. Ces variations sont très lentes et peuvent être négligées ou estimées de façon plus précise.

10 S et T sont déterminés à un facteur près. On peut ainsi choisir pour $S_{p,i,n}$ la moyenne des ondes descendantes. Cette moyenne est obtenue par un calcul bien connu de ceux qui traitent les PSV (mise à plat des ondes descendantes et moyenne). Les $T_{p,i,n,r}$ sont alors les fonctions de transfert entre l'onde descendante et le sismogramme.

15 Dans le cas où l'on désire prendre en compte la variation de T , on peut utiliser par exemple le coefficient d'actualisation h pour mettre à jour $T_{p,i,n,r}$ à partir de $T_{p,i,n-1,r}$ en procédant de la manière suivante :

Si $Co_{p,i,n,r}$ désigne l'estimation initiale de la contribution C et $To_{p,i,n,r}$, celle du facteur récepteur, on calcule S par mise à plat et moyenne des ondes descendantes puis $To_{p,i,n,r}$ par la relation :

20
$$To_{p,i,n,r} = \frac{Co_{p,i,n,r}}{S_{p,i,n}}$$

On obtient l'estimation finale du facteur récepteur par :

$$T_{p,i,n,r} = (1-h)T_{p,i,n-1,r} + hTo_{p,i,n,r}$$

et la contribution finale de la source i au cycle p de l'enregistrement n par :

$$C_{p,i,n,r} = S_{p,i,n} T_{p,i,n,r}$$

On calcule ensuite le rapport $E_{p,n}$ de l'enregistrement courant au modèle spectral par la relation :

$$E_{p,n} = (1 - k)E_{p,n-1} + k \frac{\sum C_{p,i,n}}{M_{p,n}}$$

Ce calcul nécessite la connaissance de $M_{p,n}$ dont le calcul décrit ci-dessous est effectué lors du cycle p-1. Il comporte un lissage sur les fréquences précédentes de façon à limiter l'effet de l'énergie microsismique dans son estimation. La formule proposée n'utilise que les enregistrements précédents et autorise donc le temps réel. Dans les cas difficiles, on peut remplacer cette somme par une moyenne ou une médiane courante. Il faut alors travailler en temps différé (le temps nécessaire à réaliser la seconde moitié des enregistrements utilisés dans le calcul de la moyenne).

Si $M_{p+1,n}$ représente le modèle initial de la partie active de l'enregistrement n du cycle p+1, alors :

$$M_{p+1,n} = (1 - h)M_{p,n} + h \sum E_{p,n-1} C_{p,i,n-1}$$

Ce modèle consiste essentiellement en une moyenne pondérée de la contribution courante et des contributions précédentes. La formule utilisée autorise la variation du modèle : la contribution du cycle p-q au modèle utilisé pour le cycle p est multipliée par le coefficient $(1-h)^q$ qui tend vers zéro d'autant plus vite que h est voisin de 1. Cela permet au modèle $M_{p,n}$ de suivre les variations saisonnières, et aux rapports $E_{p,n}$ de ne refléter que les variations journalières. c) Connaissant le modèle spectral $M_{p,n}$ ainsi que le rapport $E_{p,n}$ de la contribution au modèle précédemment établie, on en déduit la partie $A_{p,n}$ de l'enregistrement n du cycle p, relevant de la sismique active Partie active :

$$A_{p,n} = M_{p,n} E_{p,n}$$

De la même façon la partie $P_{p,n}$ de l'enregistrement n du cycle p, relevant proprement de l'activité microsismique (passive) se calcule par la relation :

$$P_{p,n} = R_{p,n} - A_{p,n}$$

Les contributions spectrales respectives $C_{p,i,n}$ de chacune des sources S_i aux fréquences fondamentales et à leurs harmoniques, après complétion d'un cycle de mesures fournissent par FFT inverse, les sismogrammes (dans le domaine des temps) utilisés dans le cadre de l'exploitation active.

5 Par FFT inverse, à partir de la partie $P_{p,n}$ relevant de contributions passives, on obtient l'estimation de l'activité microsismique sous-jacente contenue dans l'enregistrement $R_{p,n}$.

La mise à jour du rapport $E_{p,n}$ entre la contribution courante et le modèle spectral $M_{p,n}$, est effectuée de façon relativement rapide de façon à permettre des variations rapides
10 du signal. La mise à jour du modèle initial s'effectue de façon beaucoup plus lente ; en fait le modèle initial pourrait ne pas être mis à jour.

L'intérêt de ces mises à jour est d'optimiser l'estimation du signal actif quand ses variations ne peuvent être contrôlées (variations saisonnières et journalières). Dans les cas les plus favorables, elles ne sont pas nécessaires et l'estimation de la partie active se
15 réduira au modèle initial.

Une autre simplification possible est de négliger le bruit sismique aux fréquences émises (et, si besoin, aux harmoniques de ces fréquences). On ne se préoccupe plus d'estimer la partie active et on se contente, pour obtenir la partie passive, d'annuler ou d'interpoler les raies correspondant aux fréquences émises (et, s'il le faut, celles de leurs
20 harmoniques).

Dans un premier temps, on supprime les raies harmoniques du spectre de fréquence de chaque signal enregistré et on interpole l'amplitude et la phase aux valeurs de raie à la fréquence de la source ; et puis on reconstitue par inversion l'enregistrement non affecté par les émissions des sources contenant éventuellement un signal microsismique. Ce mode
25 de mise en œuvre convient plutôt dans le cas d'un nombre de sources peu élevé et/ou présentant une variabilité importante du signal avec le temps.

REVENDICATIONS

1) Méthode de surveillance sismique active d'une formation souterraine (1) permettant une séparation de signaux de microsismicité induite de signaux sismiques émis dans le cadre d'opérations de surveillance sismique active d'une zone souterraine en cours d'exploitation, comportant la réalisation de cycles d'enregistrement sismique avec émission d'ondes sismiques dans la formation en couplant avec elle une ou plusieurs sources sismiques (5) qui, dans ce cas, émettent simultanément des signaux orthogonaux les uns relativement aux autres, de manière à former un signal vibratoire composite, réception des signaux renvoyés par la formation en réponse à l'émission des ondes sismiques, enregistrement des signaux reçus par au moins un capteur sismique (2) et traitement des signaux enregistrés pour séparer les contributions respectives des sources sismiques aux signaux reçus et reconstruire les sismogrammes équivalents à ceux que l'on obtiendrait en actionnant séparément les sources sismiques, caractérisée en ce que l'on sépare sur les enregistrements les signaux de microsismicité induite des signaux sismiques résultant des opérations de surveillance active, en isolant leur contribution par comparaison avec un modèle spectral de référence en tenant compte des contributions spectrales de chaque source (Si) aux fréquences fondamentales émises et à leurs harmoniques respectives, et en reconstituant par inversion dans le domaine des temps les signaux de microsismicité.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la contribution spectrale des signaux de microsismicité au spectre des signaux reçus est obtenue en retranchant les valeurs d'amplitude et de phase associées au modèle spectral de référence, de l'amplitude et de la phase du spectre associé aux enregistrements.

3) Méthode selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le modèle spectral de référence est un modèle courant formé par mise à jour d'un modèle spectral précédent en tenant compte de la contribution spectrale de cycles d'enregistrement précédents.

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on forme le modèle spectral courant en déterminant une valeur moyenne des spectres de fréquence formés à partir d'enregistrements antérieurs et/ou postérieurs obtenus pour la même source et les mêmes fréquences.

5) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on forme le modèle spectral courant en déterminant une valeur médiane des spectres de fréquence formés à partir d'enregistrements antérieurs et/ou postérieurs obtenus pour la même source et les mêmes fréquences.

5 6) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on forme le modèle spectral courant par extrapolation ou interpolation à partir du spectre de fréquence à partir de valeurs spectrales voisines.

7) Méthode de surveillance sismique active d'une formation souterraine permettant une discrimination de signaux de microsismicité induite parmi des signaux émis dans le cadre d'opérations de surveillance sismique active d'une zone souterraine en cours d'exploitation, comportant la réalisation de cycles d'enregistrement sismique avec émission d'ondes sismiques dans la formation en couplant avec elle N sources sismiques (S_i) émettant simultanément et pilotés par des signaux orthogonaux les uns relativement aux autres, de manière à former un signal vibratoire composite, réception des signaux renvoyés par la formation en réponse à l'émission des ondes sismiques, enregistrement des signaux reçus par des moyens de réception sismique et traitement des signaux enregistrés pour séparer les contributions respectives des sources sismiques aux signaux reçus et reconstruire les sismogrammes équivalents à ceux que l'on obtiendrait en actionnant séparément les sources sismiques, caractérisée en ce qu'elle comporte les étapes suivantes :

20 a) pour chaque enregistrement n d'un cycle p d'enregistrement, on calcule les contributions respectives ($C_{p,i,n}$) des différentes sources aux fréquences fondamentales ;

b) on calcule ensuite le rapport ($E_{p,n}$) de la contribution à un modèle spectral ($M_{p,n}$) courant formé par actualisation d'un modèle spectral précédent ($M_{p,n-1}$) à partir de fréquences émises durant l'enregistrement (n-1) précédent ainsi que de leurs harmoniques ;

25 c) on déduit la partie ($A_{p,n}$) de l'enregistrement n du cycle p, que l'on peut associer aux opérations de surveillance sismique active ;

d) on déduit la partie ($P_{p,n}$) de l'enregistrement n du cycle p, relevant proprement de l'activité microsismique passive ; et

e) on forme par inversion dans le domaine des temps, des contributions spectrales respectives ($C_{p,i,n}$) de chacun des sources sismiques (S_i) aux fréquences fondamentales et à leurs harmoniques, après complétion d'un cycle de mesures, les sismogrammes que l'on peut associer aux opérations de surveillance sismique active ; et

5 f) on forme par inversion dans le domaine des temps, à partir de la partie ($P_{p,n}$) relevant de l'activité microsismique passive, les signaux microsismiques sous-jacents contenus dans les enregistrements.

8) Méthode selon la revendication 7, caractérisée en ce que la contribution spectrale ($C_{p,i,n}$) est obtenue en multipliant une fonction de transfert ($T_{p,i,n,r}$) entre une ondelette caractéristique de la source et un sismogramme associé au récepteur r , par une ondelette caractéristique de la source.

9) Méthode selon la revendication 8, caractérisée en ce que l'on met continuellement à jour la dite fonction de transfert.

10) Méthode selon la revendication 9, caractérisée en ce que la mise à jour de la dite fonction de transfert ($T_{p,i,n,r}$) est obtenue au cours d'un cycle courant à partir d'une estimation ($T_{p,i,n-1,r}$) faite au cours d'un cycle précédent et d'une estimation initiale ($To_{p,i,n,r}$) faite au cours du cycle courant par la relation :

$$T_{p,i,n,r} = (1 - h)T_{p,i,n-1,r} + hTo_{p,i,n,r}$$

FIG.1

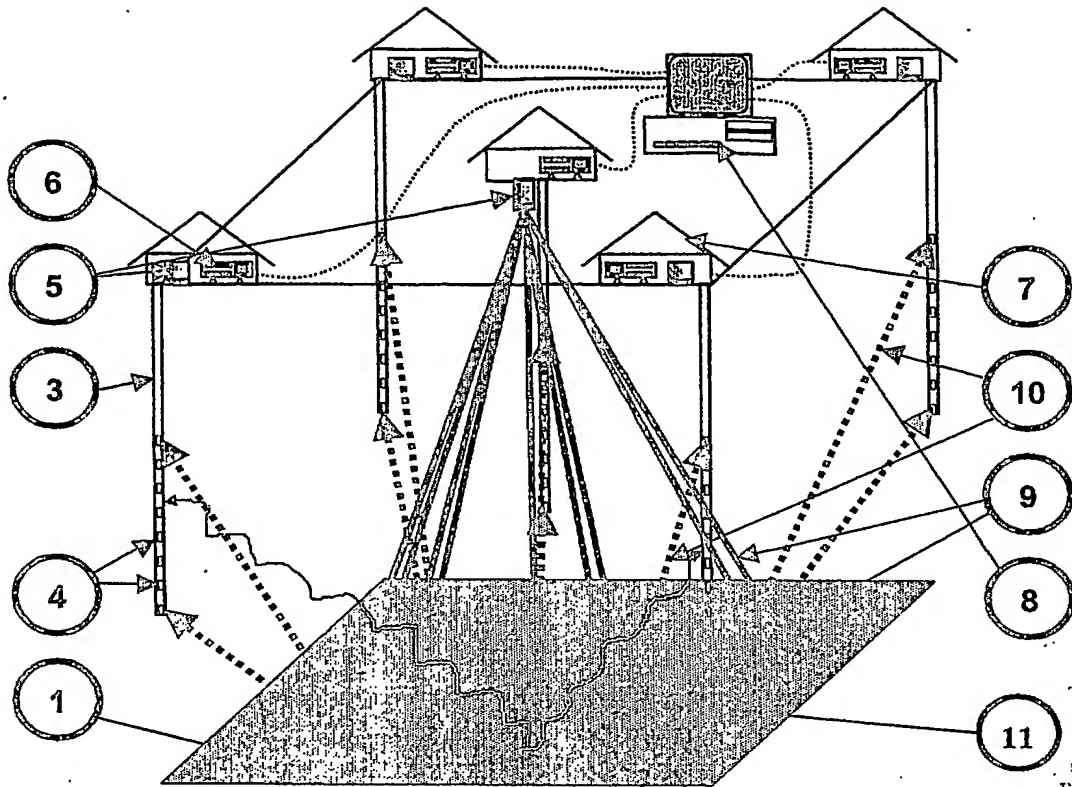
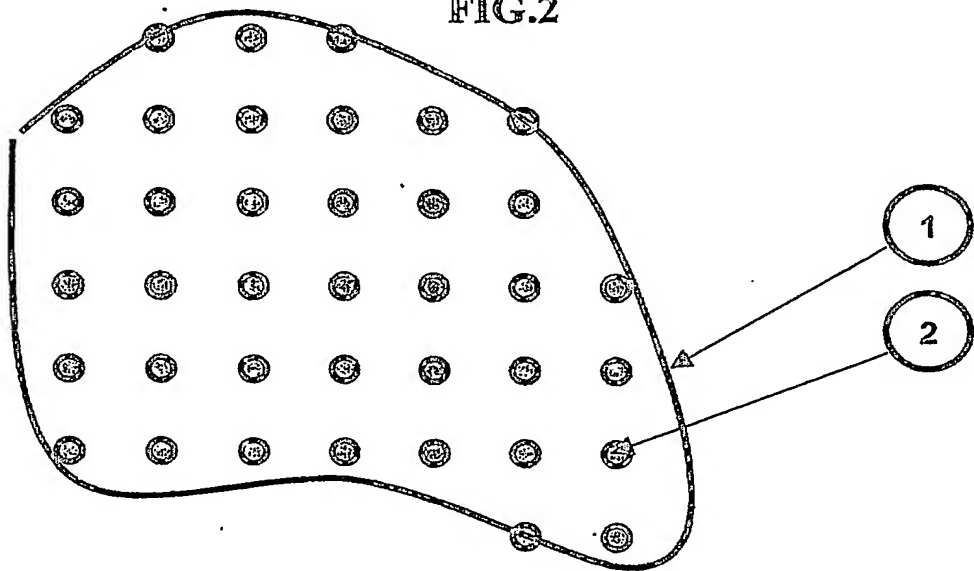


FIG.2



2/3

FIG.3

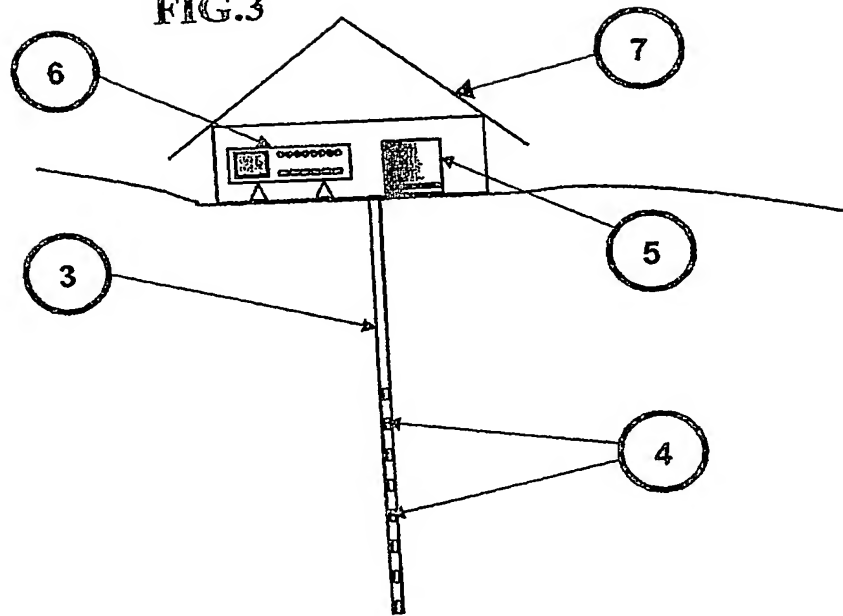


FIG.4

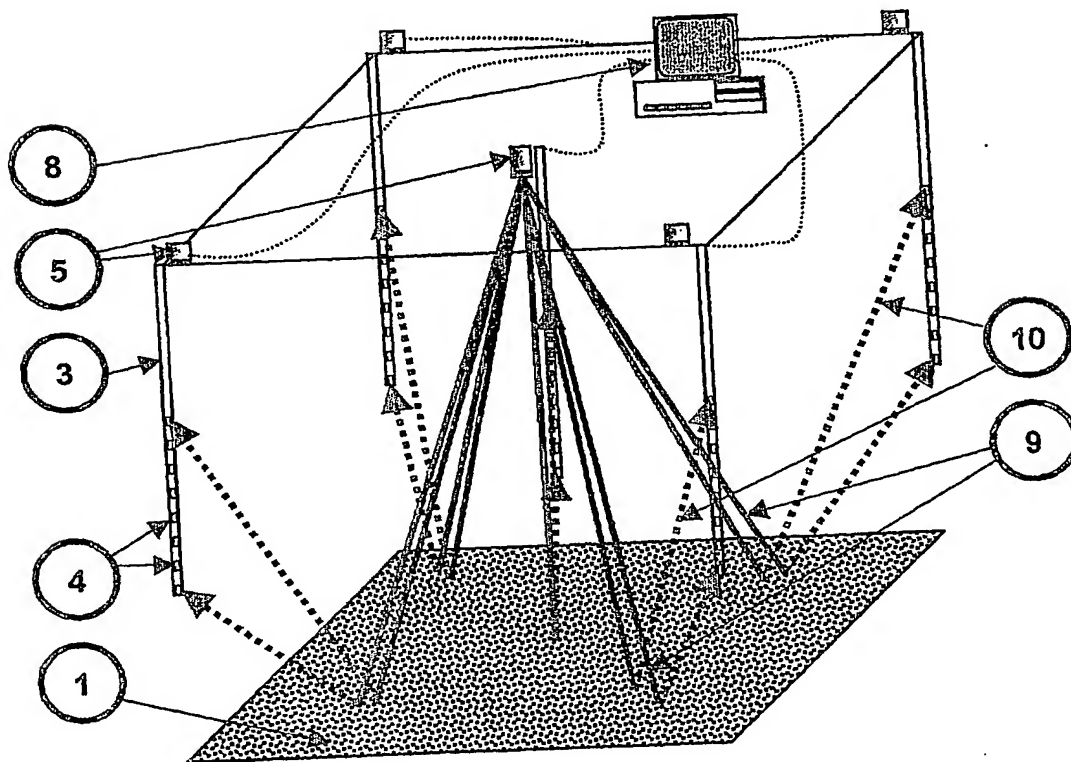
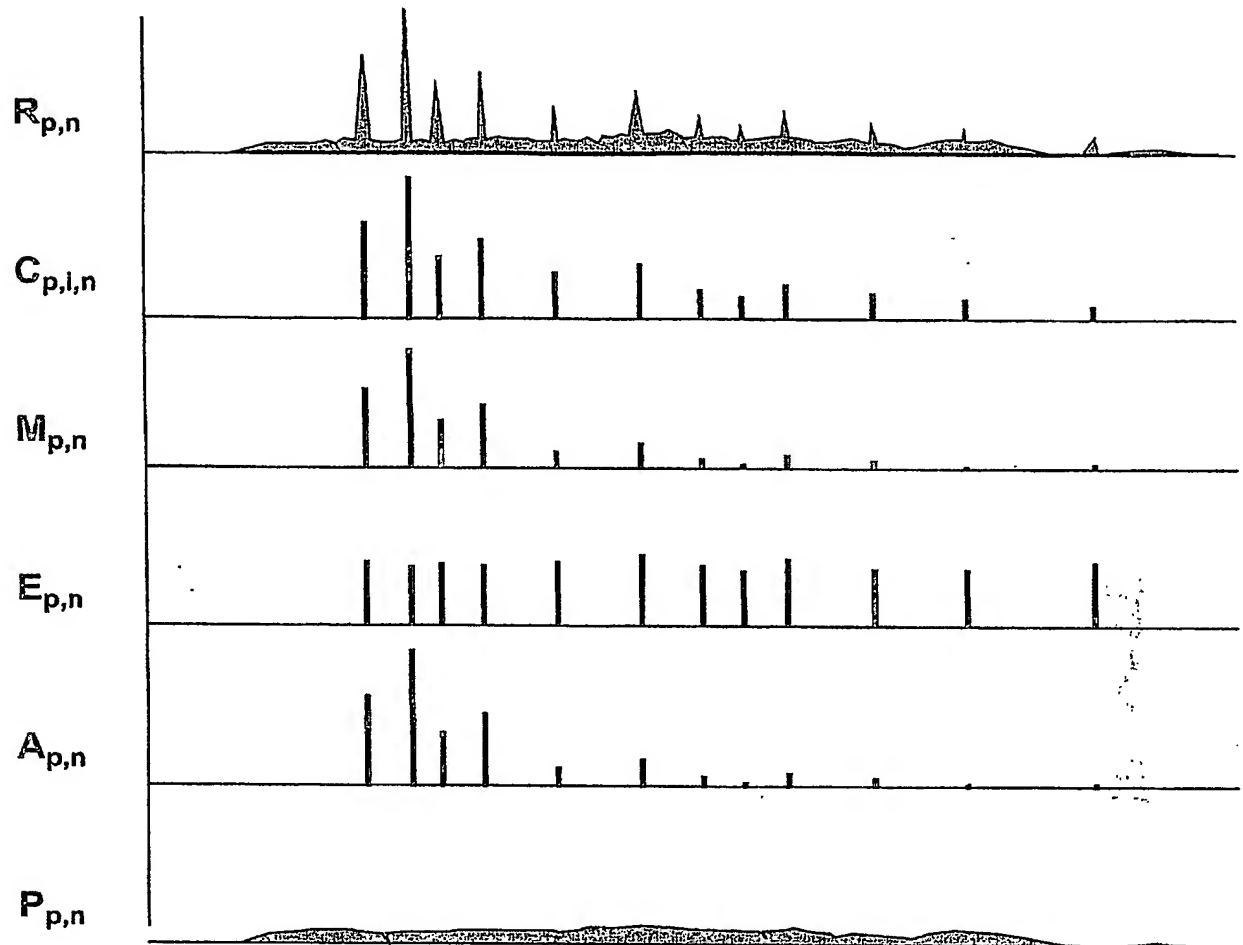


FIG.5





BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI


N° 11235*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 9 W / 270501



Vos références pour ce dossier (facultatif)		JC/CLN
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.12.84
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE DE SEPARATION DE SIGNAUX DE MICROSISMICITE DE SIGNAUX SISMQUES EMIS PAR UNE OU PLUSIEUR SOURCES		
LE(S) DEMANDEUR(S) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, GAZ DE FRANCE - SERVICE NATIONAL, COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1 Nom		MEUNIER
Prénoms		Julien
Adresse	Rue	12, rue du Père Guérin
	Code postal et ville	75013 Paris
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		HUGUET
Prénoms		Frédéric
Adresse	Rue	30, rue du Maréchal Foch
	Code postal et ville	95470 Fosses
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALEH, Directeur - Propriété Industrielle		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

PCT Application

FR0302874

